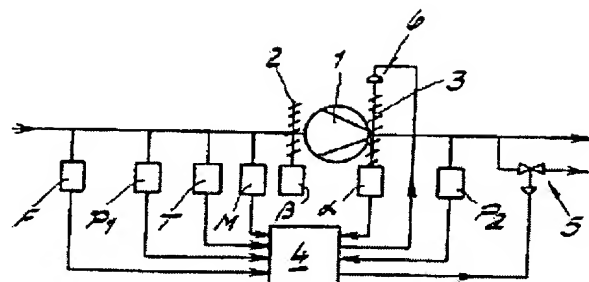


Method of monitoring the pumping limit of a turbo-compressor with leading diffuser and trailing diffuser

Patent number: DE4316202
Publication date: 1994-11-17
Inventor: VAN HOOFF YVAN (DE); ISPAS IOAN (DE)
Applicant: ATLAS COPCO ENERGAS (DE)
Classification:
- **international:** F04D27/02
- **european:** F04D27/02L
Application number: DE19934316202 19930514
Priority number(s): DE19934316202 19930514

Abstract of DE4316202

Method of monitoring the pumping limit of a turbo-compressor with leading diffuser and trailing diffuser, both the setting angle of the leading diffuser and the setting angle of the trailing diffuser being constantly changed in operation. The pressure p_1 on the inlet side, the pressure p_2 on the outlet side and the volumetric flow F passed through the compressor as well as the setting angle α of the trailing diffuser are measured and the measured values are fed to a control device with data store. According to a pumping-limit function $Y = m \times F + b$ which is stored in the control device and describes the trend of the pumping limit section by section in the compressor characteristic diagram, a pumping-limit value allocated to the operating point of the turbo-compressor is determined, where Y corresponds to the pressure difference $p_2 - p_1$ or the pressure ratio p_2/p_1 , and the coefficients m , b are established in accordance with linear functions of the setting angle α . The measured values



F, p2, p1 for volumetric flow and pressure are compared with the pumping-limit value, and the operating point of the turbo-compressor is changed if a predetermined minimum distance is not reached.



②① Aktenzeichen: P 43 16 202.9-51
②② Anmeldetag: 14. 5. 93
④③ Offenlegungstag: 17. 11. 94
④⑤ Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: 9. 4. 98

Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden

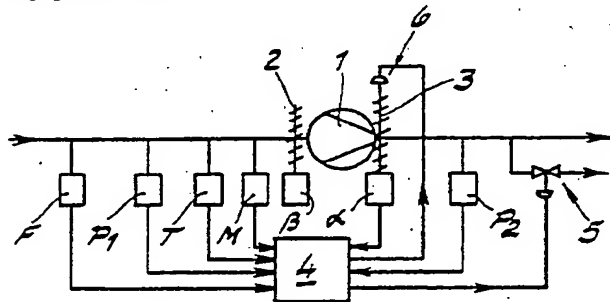
⑦③ Patentinhaber:
Atlas Copco Energas GmbH, 50999 Köln, DE
⑦④ Vertreter:
Andrejewski und Kollegen, 45127 Essen

⑦② Erfinder:
van Hoof, Yvan, 50858 Köln, DE; Ispas, Ioan, 50996
Köln, DE
⑤⑤ Für die Beurteilung der Patentfähigkeit
in Betracht gezogene Druckschriften:
DE 42 02 226 A1
US 45 86 870
DE-Z.: BBC-Nachrichten, Nov. 1983, S. 519-527;

⑤④ Verfahren zur Überwachung der Pumpgrenze eines Turboverdichters mit Vorleitapparat und Nachleitapparat

⑤⑦ Verfahren zum Überwachen der Pumpgrenze eines Turboverdichters mit Vorleitapparat und Nachleitapparat, wobei der eintrittsseitige Druck (p_1), der austrittsseitige Druck (p_2) und der durch den Verdichter geführte Volumenstrom (F) gemessen werden, wobei die Meßwerte (p_1 , p_2 , F) einer Kontrolleinrichtung (4) mit Datenspeicher zugeführt und mit Werten eines Verdichterkennfeldes verglichen werden, wobei im Falle einer Annäherung der Meßwerte an die Pumpgrenze des Verdichterkennfeldes der Betriebspunkt des Verdichters (1) verändert wird, daß der Vorleitapparat und der Nachleitapparat (3) an eine Steuerung angeschlossen sind, welche sowohl den Stellwinkel (β) des Vorleitapparates (2) als auch den Stellwinkel (α) des Nachleitapparates (3) ständig betriebsmäßig verändert, daß der Stellwinkel (α) des Nachleitapparates (3) gemessen und der Meßwert der Kontrolleinrichtung (4) zugeführt wird, dadurch gekennzeichnet, daß aus den Druckmeßwerten (p_1 , p_2) oder dem Volumenstrommeßwert (F) sowie mit dem Meßwert (α) für den Stellwinkel des Nachleitapparates (3) nach einer in der Kontrolleinrichtung abgespeicherten Pumpgrenzfunktion $Y = m \times F + b$ welche den Verlauf der Pumpgrenze im Verdichterkennfeld abschnittsweise beschreibt, ein dem Betriebspunkt des Turboverdichters zugeordneter Pumpgrenzwert ermittelt wird, wobei Y der Druckdifferenz oder dem Druckverhältnis zwischen dem verdichteraustrittsseitigen Druck p_2 und dem verdichtereintrittsseitigen Druck p_1 entspricht, wobei ferner die Koeffizienten m , b nach Maßgabe linearer Funktionen des Stellwinkels α des Nachleitapparates gemäß $m = m_0 + m_1 \times$
 $b = b_0 + b_1 \times$ ermittelt werden, wobei die aus thermodynamischen Kennfeldberechnungen bestimmten Koeffizienten m_1 , b_1 als Festwerte in der Kontrolleinrichtung abgespeichert sind und die Koeffizienten

m_0 , b_0 für die Pumpgrenzfunktion durch Testläufe an der Pumpgrenze des Turboverdichters (1) ermittelt und die ser als Eingabewerte in die Kontrolleinrichtung (4) eingegeben werden, daß die Volumenstrom- und Druckmeßwerte (F , p_1 , p_2) mit dem Pumpgrenzwert verglichen werden und beim Unterschreiten eines vorgegebenen Mindestabstandes ein Steuerungssignal zur Veränderung des Turboverdichterbetriebspunktes abgegeben wird.



Beschreibung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Überwachen der Pumpgrenze eines Turboverdichters mit Vorleitapparat und Nachleitapparat, wobei der eintrittsseitige Druck (p_1), der austrittsseitige Druck (p_2) und der durch den Verdichter geführte Volumenstrom (F) gemessen werden, wobei die Meßwerte einer Kontrolleinrichtung mit Datenspeicher zugeführt und mit Werten eines Verdichterkennfeldes verglichen werden, wobei im Falle einer Annäherung der Meßwerte an die Pumpgrenze des Verdichterkennfeldes der Betriebspunkt des Verdichters verändert wird, wobei der Vorleitapparat und der Nachleitapparat an eine Steuerung angeschlossen sind, welche sowohl den Stellwinkel (β) des Vorleitapparates als auch den Stellwinkel (α) des Nachleitapparates ständig betriebsmäßig verändert, wobei der Stellwinkel (α) des Nachleitapparates gemessen und der Meßwert der Kontrolleinrichtung zugeführt wird. — Pumpgrenze bezeichnet eine aerodynamische Stabilitätsgrenze, welche das Kennfeld eines Turboverdichters begrenzt. Bei Erreichen der Pumpgrenze treten Rückströmungen im Turboverdichter auf, die Druckschwankungen und Temperaturerhöhungen verursachen und als Pumpgeräusche deutlich wahrnehmbar sind. Eine Betriebsweise des Turboverdichters an der Pumpgrenze führt nach kurzer Betriebszeit zu Lagerschäden und Schäden an den Laufrädern. Zur Vermeidung eines Verdichterbetriebs im instabilen Bereich des Kennfeldes werden Überwachungs- und Kontrolleinrichtungen eingesetzt, die bei kritischer Annäherung an die Pumpgrenze eine Sicherheitseinrichtung des Turboverdichters in Form eines Abblaseventils zur Atmosphäre oder in Form eines Absperrventils in einer Umwälzleitung zwischen Druck- und Saugleitung des Verdichters öffnend betätigt.

Ein Verfahren der eingangs genannten Art, von dem die Erfindung ausgeht, ist aus US 4 586 870 bekannt. Auch nach diesem Verfahren wird die Pumpgrenze des Turboverdichters überwacht. Außerdem sind der Vorleitapparat und der Nachleitapparat an eine Steuerung angeschlossen, die die Stellwinkel der Leitapparate ständig betriebsmäßig verändern. Die Überwachung der Pumpgrenze wird bei diesem bekannten Verfahren mit verhältnismäßig aufwendigen Maßnahmen verwirklicht, in dem einer Kontrolleinrichtung eine Vielzahl von Parametern zugeführt wird, die entsprechend verarbeitet werden muß. Im Ergebnis ist es mit diesem bekannten Verfahren nicht unter allen Betriebsbedingungen möglich, den stabilen Betrieb des Turboverdichters stets funktionssicher zu gewährleisten.

Ein- und mehrstufige Turboverdichter mit Vorleitapparat und Nachleitapparat sind grundsätzlich bekannt (DUBBEL 13. Auflage, 1970, Seite 423). Durch Einstellung des Vorleitapparates ist ein Betrieb der Turbomaschine mit gutem Wirkungsgrad möglich. Durch den ebenfalls einstellbaren Nachleitapparat ist gleichzeitig ein breiter Betriebsbereich sichergestellt. Eine betriebsmäßige Regelung beider Verstelleinrichtungen ist im Rahmen dieser bekannten Maßnahmen nicht vorgesehen. Regelmäßig werden die Leitschaufeln des Nachleitapparates fest eingestellt und wird lediglich der Stellwinkel des Vorleitapparates geregelt. Im Rahmen dieser bekannten Maßnahmen ist es nicht möglich, den stabilen Betrieb eines Turboverdichters sicherzustellen, dessen Vorleitapparat und Nachleitapparat gleichzeitig geregelt wird.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Ver-

fahren der eingangs genannten Art anzugeben, mit dem auf relativ einfache Weise funktionssicher eine Pumpgrenzüberwachung von Turboverdichtern verwirklicht werden kann und stets ein stabiler Betrieb der Turboverdichter gewährleistet wird.

Zur Lösung dieser Aufgabe lehrt die Erfindung, daß aus den Druckmeßwerten (p_1 , p_2) oder dem Volumenstrommeßwert F sowie dem Meßwert für den Stellwinkel α des Nachleitapparates nach einer in der Kontrolleinrichtung abgespeicherten Pumpgrenzfunktion

$$Y = m \times F + b$$

welche den Verlauf der Pumpgrenze im Verdichterkennfeld abschnittsweise beschreibt, ein dem Betriebspunkt des Turboverdichters zugeordneter Pumpgrenzwert ermittelt wird,

wobei Y der Druckdifferenz $p_2 - p_1$ oder dem Druckverhältnis p_2/p_1 zwischen dem verdichteraustrittsseitigen Druck p_2 und dem verdichtereintrittsseitigen Druck p_1 entspricht,

wobei ferner die Koeffizienten m , b nach Maßgabe linearer Funktionen des Stellwinkels des Nachleitapparates gemäß

$$m = m_0 + m_1 \times$$

$$b = b_0 + b_1 \times$$

ermittelt werden,

daß die aus thermodynamischen Kennfeldberechnungen bestimmten Koeffizienten m_1 , b_1 als Festwerte in der Kontrolleinrichtung abgespeichert sind und die Koeffizienten m_0 , b_0 für die Pumpgrenzfunktion durch Testläufe an der Pumpgrenze des Turboverdichters ermittelt und diese als Eingabewerte in die Kontrolleinrichtung eingegeben werden,

daß die Volumenstrom- und Druckmeßwerte F , p_1 , p_2 mit dem Pumpgrenzwert verglichen werden und beim Unterschreiten eines vorgegebenen Mindestabstandes ein Steuersignal zur Veränderung des Turboverdichterbetriebspunktes abgegeben wird. Bei dem erfindungsgemäßen Verfahren wird der Einfluß des Nachleitapparates auf die Pumpgrenze durch eine vereinfachte lineare Beziehung erfaßt. Die Koeffizienten m_1 , b_1 ergeben sich aus thermodynamischen Kennfeldberechnungen unter Anwendung an sich bekannter Regressionstechniken. Die Koeffizienten m_0 , b_0 werden bei der Inbetriebnahme des Turboverdichters durch Testläufe ermittelt. Bei diesen Testläufen wird der Turboverdichter zum Zwecke einer Kalibrierung der Pumpgrenzfunktion kurzzeitig an seiner Pumpgrenze betrieben, wobei die zugeordneten Druck- und Volumenstrommeßwerte p_1 , p_2 , F aufgenommen sowie daraus die Koeffizienten m_0 , b_0 ermittelt werden. Erfindungsgemäß sind die aus thermodynamischen Kennfeldberechnungen bestimmten Koeffizienten m_1 , b_1 als Festwert in der Kontrolleinrichtung abgespeichert und werden die durch Testläufe an der Pumpgrenze des Turboverdichters ermittelbaren Koeffizienten m_0 , b_0 als Eingabewerte in die Kontrolleinrichtung eingegeben. Eine Korrektur der Einstellungsparameter m_0 , b_0 durch Bedienungspersonal ist dadurch ohne weiteres möglich.

Aus DE 42 02 226 A1 ist es bekannt, zur abschnittweisen Definition der Pumpgrenze eine ähnliche Funktion wie bei dem erfindungsgemäßen Verfahren zu verwenden. Eine Bestimmung der Pumpgrenze in Abhängigkeit von der Stellung der Vor- und Nachleitapparate und die Ermittlung von Koeffizienten m und b in Abhän-

gigkeit vom Nachleitapparat wird hier jedoch nicht beschrieben. — Aus DE-Z: BBC-Nachrichten, November 1963, Seiten 519—527 ist es fernerhin bekannt, Pumpgrenzlinien in Abhängigkeit von der Stellung von Verdichterstellgliedern zu ermitteln. Die im Kennzeichnungsteil des Patentanspruches 1 beanspruchte erfindungsgemäße Verfahrensweise ist in dieser Literaturstelle jedoch nicht offenbart.

Im Rahmen der Erfindung liegt es, daß das Steuersignal unabhängig von der jeweiligen Stellung des Nachleitapparates stets auf eine Sicherheitseinrichtung in Form eines Abblaseventils in der Druckleitung oder eines Bypassventils in einer Umwälzleitung zwischen Druck- und Saugseite des Turboverdichters arbeitet. Der Nachleitapparat kann jedoch auch genutzt werden, um den Betriebspunkt des Turboverdichters im Kennfeld zu verändern, wenn der Turboverdichter Gefahr läuft, in einen instabilen Betriebsbereich zu gelangen. Dazu lehrt die Erfindung, daß das Steuersignal in eine Stelleinrichtung des Nachleitapparates eingegeben wird, wobei der Stellwinkel α des Nachleitapparates nach Maßgabe des Steuersignals zwischen einer Minimal- und Maximalstellung verändert wird. Zweckmäßigerweise ist der Nachleitapparat mit Endschaltern ausgerüstet, die ein der Minimal- bzw. Maximalstellung zugeordnetes MIN/MAX-Signal an die Kontrolleinrichtung abgeben, wobei das Steuersignal der Pumpgrenzüberwachung eine dem Turboverdichter zugeordnete Sicherheitseinrichtung betätigt, wenn die Kontrolleinrichtung auch das MIN/MAX-Signal des Nachleitapparates erhält.

Im folgenden wird die Erfindung anhand einer lediglich ein Ausführungsbeispiel darstellenden Zeichnung ausführlicher erläutert. Es zeigen in schematischer Darstellung

Fig. 1 einen einstufigen Turboverdichter mit regelbarem Vorleitapparat und ebenfalls regelbarem Nachleitapparat und mit einer Kontrolleinrichtung zur Überwachung der Pumpgrenze,

Fig. 2 das Kennfeld des in Fig. 1 dargestellten Turboverdichters.

Der in Fig. 1 dargestellte Turboverdichter 1 ist insbesondere für Luft oder Stickstoff (aber nicht ausschließlich) bestimmt. Er weist einen Vorleitapparat 2 sowie einen Nachleitapparat 3 auf, die an eine nicht dargestellte Steuerung angeschlossen sind, welche sowohl den Stellwinkel α des Nachleitapparates 3 als auch den Stellwinkel β des Vorleitapparates 2 betriebmäßig und ständig verändert. Der Turboverdichter weist eine Kontrolleinrichtung 4 mit Datenspeicher auf, die zur Überwachung der Pumpgrenze vorgesehen ist und auf eine Sicherheitseinrichtung 5 arbeitet. Die Sicherheitseinrichtung umfaßt ein Abblaseventil in einer druckseitig angeordneten Abblaseleitung. Der Turboverdichter ist mit Meßeinrichtungen zur Messung des eintrittsseitigen Druckes p_1 , des austrittsseitigen Druckes p_2 und des durch den Verdichter geführten Gas-Volumenstromes F ausgerüstet. Außerdem wird der Stellwinkel α des Nachleitapparates 3 als Meßwert abgegriffen. Alle Meßwerte, p_1 , p_2 , F , α werden der Kontrolleinrichtung 4 zugeführt.

In der Kontrolleinrichtung ist eine Pumpgrenzfunktion

$$Y = m \times F + b$$

abgespeichert, welche den Verlauf der Pumpgrenze im Verdichterkennfeld abschnittsweise beschreibt. Der

Funktionswert Y entspricht der Druckdifferenz $p_2 - p_1$ oder dem Druckverhältnis p_2/p_1 zwischen dem verdichteraustrittsseitigen Druck p_2 und dem verdichterseitigen Druck p_1 . Die Koeffizienten m , b sind lineare Funktionen des Stellwinkels des Nachleitapparates und werden gemäß

$$m = m_0 + m_1 \times \alpha$$

$$b = b_0 + b_1 \times \alpha$$

ermittelt. Aus thermodynamischen Kennfeldberechnungen können die Koeffizienten m_1 , b_1 nach bekannten Regressionstechniken ermittelt werden. Sie sind in der Kontrolleinrichtung 4 fest abgespeichert. Die Koeffizienten m_0 , b_0 werden durch Feldversuche an dem installierten Turboverdichter 1 ermittelt. Dazu wird der Turboverdichter 1 kurzzeitig an seiner Pumpgrenze betrieben, wobei die zugeordneten Druck- und Volumenstrommeßwerte p_1 , p_2 , F aufgenommen und daraus die Koeffizienten m_0 , b_0 für die Pumpgrenzfunktion ermittelt werden. Die Koeffizienten m_0 , b_0 sind als Eingabewerte in die Kontrolleinrichtung 4 einbaubar und können durch das Bedienungspersonal verändert bzw. korrigiert werden.

Die Fig. 2 zeigt das Kennfeld des Turboverdichters, wobei der Verlauf der Pumpgrenze abschnittsweise durch die lineare Pumpgrenzfunktion

$$Y = m \times F + b$$

angenähert ist. Der Stellwinkel β des Vorleitapparates 2 ist als Parameter eingetragen. Der ebenfalls als Parameter eingetragene Stellwinkel α des Nachleitapparates 3 führt zu den angegebenen Verschiebungen der Pumpgrenze.

Nach der in der Kontrolleinrichtung 4 abgespeicherten Pumpgrenzfunktion wird mit den Druckmeßwerten p_1 , p_2 oder dem Volumenmeßwert F sowie mit dem Stellwinkelmeßwert α ein Pumpgrenzwert ermittelt, der dem Betriebspunkt des Turboverdichters 1 zugeordnet ist. Die Volumenstrom- und Druckmeßwerte F , p_1 , p_2 werden mit diesem Pumpgrenzwert verglichen. Bei Unterschreiten einem vorgegebenen Mindestabstandes von dem Pumpgrenzwert wird ein Steuersignal abgegeben, durch welches der Turboverdichterbetriebspunkt verändert wird. Der Fig. 1 entnimmt man, daß das Steuersignal auf eine Stelleinrichtung 6 des Nachleitapparates 3 arbeitet, wobei der Stellwinkel α des Nachleitapparates 3 nach Maßgabe des Steuersignals zwischen einer Minimal- und Maximalstellung verändert wird. Der Nachleitapparat 3 ist mit Endschaltern ausgerüstet, die ein der Minimal- bzw. Maximalstellung zugeordnetes MIN/MAX-Signal an die Kontrolleinrichtung 4 abgeben. Sobald die Kontrolleinrichtung 4 das MIN/MAX-Signal des Nachleitapparates 3 erhält, betätigt das Steuersignal der Pumpgrenzüberwachung die dem Turboverdichter zugeordnete Sicherheitseinrichtung 5.

Der Fig. 1 entnimmt man, daß zusätzlich die Temperatur T des Volumenstromes F gemessen und der Temperaturmeßwert T der Kontrolleinrichtung 4 zugeführt wird. Außerdem ist in die Kontrolleinrichtung 4 das Molekulargewicht M des Fördermediums einbaubar. Der Einfluß der Temperatur T und des Molekulargewichtes M können in der angegebenen Pumpgrenzfunktion durch lineare Zusatzterme berücksichtigt werden. Das beschriebene Verfahren zur Pumpgrenzüberwachung ist nicht nur bei einstufigen Turboverdichtern anwendbar, sondern auch für mehrstufige Turboverdichter ge-

eignet, wenn mindestens eine Stufe mit einem geregelten Vorleitapparat und Nachleitapparat ausgerüstet ist.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Überwachen der Pumpgrenze eines Turboverdichters mit Vorleitapparat und Nachleitapparat, wobei der eintrittsseitige Druck (p_1), der austrittsseitige Druck (p_2) und der durch den Verdichter geführte Volumenstrom (F) gemessen werden, wobei die Meßwerte (p_1 , p_2 , F) einer Kontrolleinrichtung (4) mit Datenspeicher zugeführt und mit Werten eines Verdichterkennfeldes verglichen werden, wobei im Falle einer Annäherung der Meßwerte an die Pumpgrenze des Verdichterkennfeldes der Betriebspunkt des Verdichters (1) verändert wird, daß der Vorleitapparat und der Nachleitapparat (3) an eine Steuerung angeschlossen sind, welche sowohl den Stellwinkel (β) des Vorleitapparates (2) als auch den Stellwinkel (α) des Nachleitapparates (3) ständig betriebsmäßig verändert, daß der Stellwinkel (α) des Nachleitapparates (3) gemessen und der Meßwert der Kontrolleinrichtung (4) zugeführt wird, dadurch gekennzeichnet, daß aus den Druckmeßwerten (p_1 , p_2) oder dem Volumenstrommeßwert (F) sowie mit dem Meßwert (α) für den Stellwinkel des Nachleitapparates (3) nach einer in der Kontrolleinrichtung abgespeicherten Pumpgrenzfunktion

$$Y = m \times F + b$$

welche den Verlauf der Pumpgrenze im Verdichterkennfeld abschnittsweise beschreibt, ein dem Betriebspunkt des Turboverdichters zugeordneter Pumpgrenzwert ermittelt wird, wobei Y der Druckdifferenz oder dem Druckverhältnis zwischen dem verdichteraustrittsseitigen Druck p_2 und dem verdichtereintrittsseitigen Druck p_1 entspricht, wobei ferner die Koeffizienten m , b nach Maßgabe linearer Funktionen des Stellwinkels α des Nachleitapparates gemäß

$$\begin{aligned} m &= m_0 + m_1 \times \\ b &= b_0 + b_1 \times \end{aligned}$$

ermittelt werden, wobei die aus thermodynamischen Kennfeldberechnungen bestimmten Koeffizienten m_1 , b_1 als Festwerte in der Kontrolleinrichtung abgespeichert sind und die Koeffizienten m_0 , b_0 für die Pumpgrenzfunktion durch Testläufe an der Pumpgrenze des Turboverdichters (1) ermittelt und dieser als Eingabewerte in die Kontrolleinrichtung (4) eingegeben werden, daß die Volumenstrom- und Druckmeßwertes (F , p_1 , p_2) mit dem Pumpgrenzwert verglichen werden und beim Unterschreiten eines vorgegebenen Mindestabstandes ein Steuersignal zur Veränderung des Turboverdichterbetriebspunktes abgegeben wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das Steuersignal in eine Stelleinrichtung (6) des Nachleitapparates eingegeben wird, wobei der Stellwinkel des Nachleitapparates nach

Maßgabe des Steuersignals zwischen einer Minimal- und Maximalstellung verändert wird.

3. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß der Nachleitapparat (3) mit Endschaltern ausgerüstet ist, die ein der Minimal- bzw. Maximalstellung zugeordnetes MIN/MAX-Signal an die Kontrolleinrichtung (4) abgeben, und daß das Steuersignal der Pumpgrenzüberwachung eine dem Turboverdichter (1) zugeordnete Sicherheitseinrichtung betätigt, wenn die Kontrolleinrichtung (4) auch das MIN/MAX-Signal des Nachleitapparates (3) erhält.

Hierzu 1 Seite(n) Zeichnungen

- Leerseite -

Fig. 1

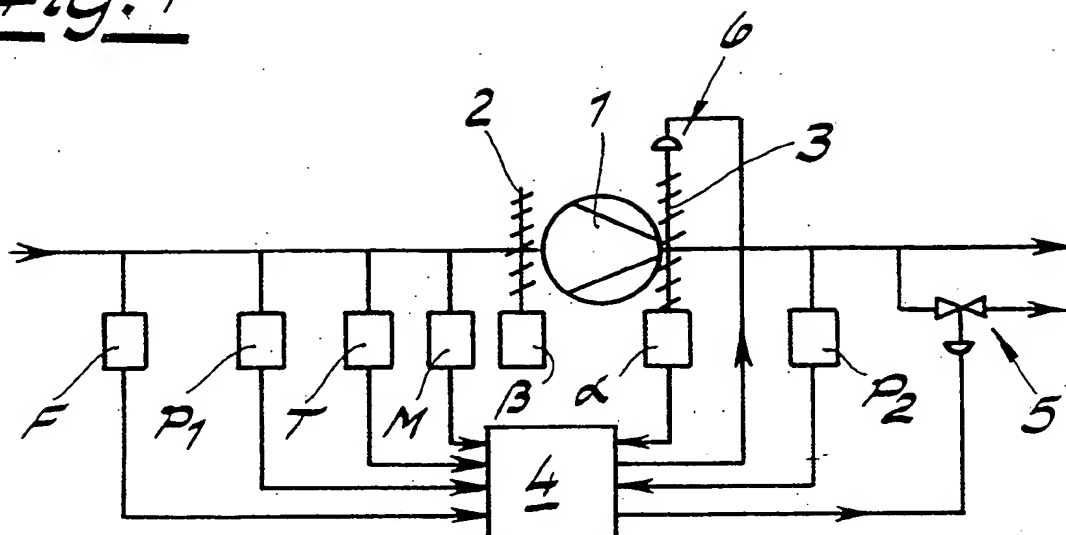


Fig. 2

